

В статье рассматривается вопрос определения количества геометрически различных комбинаций отдельного и совместного подключения токовых цепей и цепей напряжения к счетчикам электрической энергии при измерениях согласно методам двух и трех ваттметров.

УДК 621.317

Д.Н. Калюжный, канд. техн. наук  
Харьковская национальная академия  
городского хозяйства

## АНАЛИЗ СХЕМ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

**Введение.** На сегодняшний день существующие счетчики электрической энергии не защищены от неправильного подключения. Проверку правильности подключения и выявления изменений в схеме подключения проводит организация, занимающаяся учетом электропотребления. Непосредственно это мероприятие производится путем анализа векторной диаграммы токов и напряжений, полученных с помощью ВАФ [1]. Это занимает значительное время и требует наличия высококвалифицированного персонала.

Учитывая недостатки существующего подхода определения схемы подключения счетчиков электроэнергии, и принимая во внимание качественные изменения, произошедшие на уровне элементной базы измерительных устройств, представляется возможным разработка методов и средств автоматического определения и корректировки схем подключения счетчиков электроэнергии.

Решение поставленной задачи требует предварительного определения количества возможных комбинаций схем подключения счетчиков электроэнергии. При этом будем различать схемы отдельного подключения токовых цепей и цепей напряжения, а также схемы их совместного подключения.

В связи с большим количеством всевозможных комбинаций схем подключения предположим, что обрыв цепи в двух и более каналах тока или напряжения, а также подключение к различным токовым входам или входам по напряжению счетчиков электроэнергии одноименных фаз электрических величин – маловероятные события.

Используя правило произведения [2] и особенности пространственного расположения векторов токов и потенциалов точек электрической цепи определим количество геометрически различных схем подключения счетчиков электроэнергии.

Рассмотрим **отдельное подключение токовых цепей. Метод трех ваттметров.** С учетом ограничения по маловероятным схемам подключения к трем токовым входам счетчика электроэнергии можно подать следующие электрические величины:  $\underline{I}_{A+}$ ;  $\underline{I}_{A-}$ ;  $\underline{I}_{B+}$ ;  $\underline{I}_{B-}$ ;  $\underline{I}_{C+}$ ;  $\underline{I}_{C-}$ ;  $0_+$ ;  $0_-$ . В этой совокупности вектор  $\underline{I}_{i+}$  ( $i = A, B, C$ ) соответствует согласному подключению,  $\underline{I}_{i-}$  – встречному подключению,  $0_+$  – обрыву одного из трех токовых каналов при согласном подключении,  $0_-$  – обрыву при встречном подключении.

Согласно правилу произведения [2] в рассматриваемом случае количество возможных комбинаций подключения счетчика по токовым цепям составит  $8 \cdot 6 \cdot 4 = 192$  способа. Из них 48 комбинаций подключения ( $6 \cdot 4 \cdot 2$ ) исключают обрыв токового канала, а 144 комбинации ( $192 - 48$ ) характеризуются наличием обрыва в одном из токовых каналов.

Проанализируем систему трех векторов тока счетчика электроэнергии. Её можно характеризовать следующими свойствами. 1. Существует три преобразования системы векторов – её поворот на  $120^\circ$ ,  $240^\circ$  и  $360^\circ$ , в которых расположения векторов относительно друг друга остаются неизменными. Это свойство обусловлено произвольным выбором базового вектора. 2. Существует два преобразования системы векторов связанные с изменением по-

лярности – поворот на  $180^\circ$  и  $360^\circ$ , в которых расположения векторов относительно друг друга остаются неизменными. Это свойство обусловлено особенностью токовых цепей счетчика электроэнергии, которые являются независимыми.

Таким образом, существует шесть эквивалентных положений системы трех векторов тока, при которых их взаимное расположение относительно друг друга остается неизменным. С учетом вышеизложенного число геометрически различных комбинаций подключения векторов тока к токовым входам счетчика электроэнергии составит  $192/6 = 32$  способа. Из них 8 комбинаций, которые исключают обрыв токового канала, и 24 – которые характеризуются наличием обрыва в одном из токовых каналов. Если вектора  $0_+$  и  $0_-$  представить в виде одного нулевого вектора, то число геометрически различных комбинаций системы трех векторов, характеризующиеся наличием обрыва в одном из токовых каналов, составит  $24/2 = 12$  способов. В конечном счете, количество геометрически различных комбинаций подключения векторов тока к токовым входам счетчика составит  $12 + 8 = 20$  способов (табл. 1).

Таблица 1. Геометрически различные комбинации подключения векторов тока к токовым входам счетчика электроэнергии в методе трех ваттметров.

Комбинация	Токовые входы счетчика электроэнергии		
	$I_A$	$I_B$	$I_C$
Прямое чередование векторов			
1	$\underline{I}'_A$	$\underline{I}'_B$	$\underline{I}'_C$
Прямое чередование векторов и неправильная полярность			
2	$\underline{I}'_A$	$-\underline{I}'_B$	$-\underline{I}'_C$
3	$\underline{I}'_A$	$-\underline{I}'_B$	$\underline{I}'_C$
4	$\underline{I}'_A$	$\underline{I}'_B$	$-\underline{I}'_C$
Обратное чередование векторов			
5	$\underline{I}'_A$	$\underline{I}'_C$	$\underline{I}'_B$
Обратное чередование векторов и неправильная полярность			
6	$\underline{I}'_A$	$-\underline{I}'_C$	$-\underline{I}'_B$
7	$\underline{I}'_A$	$-\underline{I}'_C$	$\underline{I}'_B$
8	$\underline{I}'_A$	$\underline{I}'_C$	$-\underline{I}'_B$
Прямое чередование векторов и отключение одного вектора			
9	-	$\underline{I}'_B$	$\underline{I}'_C$
10	$\underline{I}'_A$	-	$\underline{I}'_C$
11	$\underline{I}'_A$	$\underline{I}'_B$	-
Прямое чередование векторов, неправильная полярность и отключение одного вектора			
12	-	$-\underline{I}'_B$	$\underline{I}'_C$
13	$\underline{I}'_A$	-	$-\underline{I}'_C$
14	$\underline{I}'_A$	$-\underline{I}'_B$	-
Обратное чередование векторов и отключение одного вектора			
15	-	$\underline{I}'_C$	$\underline{I}'_B$
16	$\underline{I}'_A$	-	$\underline{I}'_B$
17	$\underline{I}'_A$	$\underline{I}'_C$	-
Обратное чередование векторов, неправильная полярность и отключение одного вектора			
18	-	$-\underline{I}'_C$	$\underline{I}'_B$
19	$\underline{I}'_A$	-	$-\underline{I}'_B$
20	$\underline{I}'_A$	$-\underline{I}'_C$	-

Примечание. \*  $\underline{I}'_i$  - подключаемый вектор тока к токовому входу счетчика электроэнергии  $I_i$ .

*Метод двух ваттметров.* К двум токовым входам счетчика электроэнергии можно подать следующие электрические величины:  $\underline{I}_{I+}$ ;  $\underline{I}_{I-}$ ;  $\underline{I}_{II+}$ ;  $\underline{I}_{II-}$ ;  $\underline{I}_{III+}$ ;  $\underline{I}_{III-}$ ;  $0_+$ ;  $0_-$ . В этой совокупности вектор  $\underline{I}_{i+}$  ( $i = I, II, III$ ) соответствует согласному подключению,  $\underline{I}_{i-}$  – встречному подключению,  $0_+$  – обрыву одного из двух токовых каналов при согласном подключении,  $0_-$  – обрыву при встречном подключении. Вектор тока с символом «I» соответствует току первого элемента, с символом «II» – второго элемента и с символом «III» – исключаемому току.

Для рассматриваемого метода геометрически различных комбинаций подключения векторов тока к токовым входам счетчика электроэнергии без обрыва токового канала составляет 4 способа. Количество комбинаций, характеризующееся обрывом токового канала, составляет 2 способа (табл. 2).

Таблица 2. Комбинации отдельного подключения векторов тока к токовым входам счетчика электроэнергии в методе двух ваттметров.

Комбинация	Входы счетчика электроэнергии по току	
	$I_I$	$I_{II}$
Прямое чередование векторов		
1	$\underline{I}'_I$	$\underline{I}'_{II}$
Прямое чередование векторов и неправильная полярность		
2	$\underline{I}'_I$	$-\underline{I}'_{II}$
Обратное чередование векторов		
3	$\underline{I}'_{II}$	$\underline{I}'_I$
Обратное чередование векторов и неправильная полярность		
4	$\underline{I}'_{II}$	$-\underline{I}'_I$
Прямое чередование векторов и (или) неправильная полярность и обрыв одного токового канала		
5	$\underline{I}'_I$	-
Обратное чередование векторов и (или) неправильная полярность и обрыв одного токового канала		
6	-	$\underline{I}'_I$

Примечание. \* $\underline{I}'_i$  – подключаемый вектор тока к токовому входу счетчика электроэнергии  $I_i$ .

Рассмотрим **отдельное подключение цепей напряжения**. *Метод трех ваттметров.* Для подключения цепей напряжения, в отличие от цепей тока, используется не шесть соединительных проводов, а четыре провода, с помощью которых на счетчик электроэнергии подаются потенциалы трех фаз и нулевого провода:  $\varphi_A$ ,  $\varphi_B$ ,  $\varphi_C$ ,  $\varphi_{3T}$ . С учетом ограничения по маловероятных схемах подключения к четырем входам счетчика по напряжению можно подать следующие потенциалы:  $\varphi_A$ ,  $\varphi_B$ ,  $\varphi_C$ ,  $\varphi_{3T}$ ,  $\varphi_0$ . В этой совокупности  $\varphi_0$  – соответствует подключению одного из четырех потенциалов при обрыве канала напряжения.

Количество комбинаций подключения пяти потенциалов к счетчику электроэнергии составит  $5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 = 120$  способов. При фиксировании одного из пяти потенциалов, например в общей точке звезды, 120 способов можно рассматривать как сумму комбинаций пяти случаев ( $5 \cdot 24 = 120$ ). Тогда в пределах каждого случая, при произвольном выборе базового потенциала, количество геометрически различных пространственных

расположений потенциалов и соответственно векторов напряжений между ними составит  $24/3 = 8$  способов (табл. 3).

Таблица 3. Геометрически различные комбинации подключения потенциалов напряжения к входам счетчика электроэнергии в методе трех ваттметров.

Комбинация	Входы счетчика по напряжению		
	$\varphi_A$	$\varphi_B$	$\varphi_C$
$\varphi_{3T} = \varphi'_{3T}$			
1	$\varphi'_A$	$\varphi'_B$	$\varphi'_C$
2	$\varphi'_A$	$\varphi'_C$	$\varphi'_B$
3	$\varphi'_{A0}$	$\varphi'_B$	$\varphi'_C$
4	$\varphi'_A$	$\varphi'_{B0}$	$\varphi'_C$
5	$\varphi'_A$	$\varphi'_C$	$\varphi'_{C0}$
6	$\varphi'_{A0}$	$\varphi'_C$	$\varphi'_B$
7	$\varphi'_A$	$\varphi'_{C0}$	$\varphi'_B$
8	$\varphi'_A$	$\varphi'_C$	$\varphi'_{B0}$
$\varphi_{3T} = \varphi'_A$			
9	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_B$	$\varphi'_C$
10	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_C$	$\varphi'_B$
11	$\varphi'_{3T0}$	$\varphi'_B$	$\varphi'_C$
12	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_{B0}$	$\varphi'_C$
13	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_B$	$\varphi'_{C0}$
14	$\varphi'_{3T0}$	$\varphi'_C$	$\varphi'_B$
15	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_{C0}$	$\varphi'_B$
16	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_C$	$\varphi'_{B0}$
$\varphi_{3T} = \varphi'_B$			
17	$\varphi'_A$	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_C$
18	$\varphi'_C$	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_A$
19	$\varphi'_{A0}$	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_C$
20	$\varphi'_A$	$\varphi'_{3T0}$	$\varphi'_C$
21	$\varphi'_A$	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_{C0}$

Комбинация	Входы счетчика по напряжению		
	$\varphi_A$	$\varphi_B$	$\varphi_C$
22	$\varphi'_{C0}$	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_A$
23	$\varphi'_C$	$\varphi'_{3T0}$	$\varphi'_A$
24	$\varphi'_C$	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_{A0}$
$\varphi_{3T} = \varphi'_C$			
25	$\varphi'_A$	$\varphi'_B$	$\varphi'_{3T}$
26	$\varphi'_B$	$\varphi'_A$	$\varphi'_{3T}$
27	$\varphi'_{A0}$	$\varphi'_B$	$\varphi'_{3T}$
28	$\varphi'_A$	$\varphi'_{B0}$	$\varphi'_{3T}$
29	$\varphi'_A$	$\varphi'_B$	$\varphi'_{3T0}$
30	$\varphi'_{B0}$	$\varphi'_A$	$\varphi'_{3T}$
31	$\varphi'_B$	$\varphi'_{A0}$	$\varphi'_{3T}$
32	$\varphi'_B$	$\varphi'_A$	$\varphi'_{3T0}$
$\varphi_{3T} = \varphi'_{3T0}$			
33	$\varphi'_A$	$\varphi'_B$	$\varphi'_C$
34	$\varphi'_A$	$\varphi'_C$	$\varphi'_B$
$\varphi_{3T} = \varphi'_{A0}$			
35	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_B$	$\varphi'_C$
36	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_C$	$\varphi'_B$
$\varphi_{3T} = \varphi'_{B0}$			
37	$\varphi'_A$	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_C$
38	$\varphi'_C$	$\varphi'_{3T}$	$\varphi'_A$
$\varphi_{3T} = \varphi'_{C0}$			
39	$\varphi'_A$	$\varphi'_B$	$\varphi'_{3T}$
40	$\varphi'_B$	$\varphi'_A$	$\varphi'_{3T}$

Примечание. \*  $\varphi'_i$  - подключаемый потенциал к входу счетчика электроэнергии по напряжению  $\varphi_i$ .

*Метод двух ваттметров.* В данном методе к трем входам счетчика по напряжению можно подключить следующую совокупность потенциалов:  $\varphi_I$ ,  $\varphi_{II}$ ,  $\varphi_{III}$ ,  $\varphi_0$ . Потенциал  $\varphi_0$  соответствует подключению одного из трех потенциалов фаз при обрыве

канала напряжения. Количество геометрически различных комбинаций подключения и соответственно напряжений между потенциалами составляет 8 способов (табл. 4).

Таблица 4. Геометрически различные комбинации подключения потенциалов напряжения к входам счетчика электроэнергии в методе двух ваттметров.

Комбинация	Входы счетчика электроэнергии по напряжению		
	$\varphi_I$	$\varphi_{II}$	$\varphi_{III}$
Прямое чередование потенциалов			
1	$\varphi'_I$	$\varphi'_{II}$	$\varphi'_{III}$
Обратное чередование потенциалов			
2	$\varphi'_I$	$\varphi'_{III}$	$\varphi'_{II}$
Прямое чередование потенциалов, обрыв канала 1-го потенциала			
3	$\varphi'_0$	$\varphi'_{II}$	$\varphi'_{III}$
Прямое чередование потенциалов, обрыв канала 2-го потенциала			
4	$\varphi'_I$	$\varphi'_0$	$\varphi'_{III}$
Прямое чередование потенциалов, обрыв канала 3-го потенциала			
5	$\varphi'_I$	$\varphi'_{II}$	$\varphi'_0$
Обратное чередование потенциалов, обрыв канала 1-го потенциала			
6	$\varphi'_0$	$\varphi'_{III}$	$\varphi'_{II}$
Обратное чередование потенциалов, обрыв канала 2-го потенциала			
7	$\varphi'_I$	$\varphi'_0$	$\varphi'_{II}$
Обратное чередование потенциалов, обрыв канала 3-го потенциала			
8	$\varphi'_I$	$\varphi'_{III}$	$\varphi'_0$

Примечание. \*  $\varphi'_i$  - подключаемый потенциал к входу счетчика электроэнергии по напряжению  $\varphi_i$ .

Рассмотрим **совместное подключение векторов тока и напряжения. Метод трех ваттметров.** Согласно правилу произведения [2] количество геометрически различных комбинаций совместного подключения векторов тока и напряжения к счетчику электрической энергии составляет  $20 \cdot 40 = 800$  способов. В случае правильного отдельного подключения векторов тока и напряжения при привязке к одному из векторов напряжений количество геометрически различных комбинаций их совместного подключения определяется шестью способами, которые обусловлены шестью эквивалентными положения системы трех векторов тока.

**Метод двух ваттметров.** В данном случае количество геометрически различных комбинаций совместного подключения векторов тока и напряжения к счетчику электрической энергии составляет  $6 \cdot 8 = 48$  способов. В случае правильного отдельного подключения векторов тока и напряжения количество геометрически различных комбинаций их совместного подключения определяется также шестью способами.

**Выводы.** Определено количество геометрически различных комбинаций отдельного и совместного подключения токовых цепей и цепей напряжения к счетчику электрической энергии при измерениях согласно методам двух и трех ваттметров со следующим ограничением: обрыв цепи в двух и более каналах, а также подключение к различным входам счетчика электроэнергии одноименных электрических величин – маловероятные события. Для метода трех ваттметров количество геометрически различных комбинаций отдельного подключения токовых цепей составляет 20 способов, цепей напряжений – 40 способов. Геометрически различных способов совместного подключения токовых цепей и цепей напряжения при отдельном их правильном подключении составляет 6 способов. Для метода двух ваттметров количество геометрически различных комбинаций отдельного подключения токовых цепей составляет 6 способов, цепей напряжений – 8 способов. Геометрически различных способов совместного подключения токовых цепей и цепей напряжения при отдельном их правильном подключении составляет также 6 способов. Полученные результаты можно использовать для различных измерительных устройств, основанных на методе двух и трех ваттметров.

### Литература

1. Труб И.И. Обслуживание индукционных счетчиков и цепей учета в электроустановках. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
2. М. Холл Комбинаторика пер. с англ. – М.: Мир, 1970.

---



---

### АНАЛІЗ СХЕМ ПІДКЛЮЧЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Д.М. Калюжний

*У статті розглянуте питання визначення кількості геометрично різних комбінацій окремого та спільного підключення струмових кіл та кіл напруги до лічильників електричної енергії при вимірюваннях згідно методів двох та трьох ваттметрів*

### ANALYSIS OF CIRCUIT CONNECTION ELECTRICITY METER

D.N. Kalyuzhnyi

*The article is considered on the question of definition number geometrically different combination single and jointly connection current circuits and voltage circuits to electricity meter under measuring according to methods of two and three wattmeters.*